

REDUKCJA EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH ZE STATKÓW – AMONIAK JAKO PALIWO PRZYSZŁOŚCI

REDUCTION OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM SHIPS – AMMONIA AS FUEL OF THE FUTURE

Agnieszka Ubowska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, al. Piastów 41, 71-065
Szczecin, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa
i Energetyki, e-mail: agnieszka.ubowska@zut.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia stan wiedzy dotyczący emisji gazów cieplarnianych w żegludzie. Wskazuje techniczne rozwiązania umożliwiające ograniczenie emisji dwutlenku węgla, zgodnie z przyjętym przez IMO planem. Jedną z możliwości jest wykorzystanie amoniaku jako paliwa w silnikach spalinowych bądź w ogniowach paliwowych. Rozwiązania te znajdują odzwierciedlenie we współczesnych projektach jednostek pływających.

Słowa kluczowe: amoniak, paliwo, gazy cieplarniane, redukcja emisji, statki.

Abstract: The article presents the state of knowledge regarding emissions of greenhouse gases in shipping. It indicates technical solutions to reduce carbon dioxide emissions, in accordance with the plan adopted by the IMO. One of the possibilities is the use of ammonia as fuel in internal combustion engines or in fuel cells. These solutions are reflected in contemporary projects of vessels.

Keywords: ammonia, fuel, greenhouse gases, emission reduction, ships.

1. WSTĘP

Łagodzenie zmian klimatycznych stanowi globalne wyzwanie, dlatego niezwykle istotne jest wspólne działanie na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (GHG), w szczególności dwutlenku węgla (CO₂). Dotychczasowe inicjatywy jak: Europejski Program Zmian Klimatycznych, Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu czy Protokół z Kioto wyznaczają kierunki działań zmierzających do poprawy jakości powietrza. Protokół z Kioto (1997) zawiera postanowienia dotyczące redukcji emisji gazów cieplarnianych również dla

międzynarodowego sektora żeglugi, przy czym traktuje ten sektor (podobnie jak lotnictwo) w inny sposób niż pozostałe źródła GHG, ze względu na jego globalny zasięg. We wrześniu 1997 r. Międzynarodowa Konferencja Stron Konwencji MARPOL, która zatwierdziła Protokół z 1997 r. dotyczący zmiany Konwencji MARPOL (Załącznik VI MARPOL), przyjęła również rezolucję w sprawie emisji CO₂ ze statków. W rezolucji tej wezwano Komitet Ochrony Środowiska Morskiego (MEPC) do poszukiwania strategii redukcji CO₂, wezwano również IMO do przeprowadzenia badania emisji CO₂ ze statków w celu ustalenia ilości i udziału emisji CO₂ ze statków w globalnej emisji CO₂ [IMO 2015].

W grudniu 2003 r. Zgromadzenie IMO przyjęło rezolucję A.963 (23) w sprawie polityki i praktyk związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych ze statków. Skłoniło to MEPC do zidentyfikowania i opracowania mechanizmów niezbędnych do redukcji emisji gazów cieplarnianych w żegludze międzynarodowej. W kolejnych latach nasiliły się działania MEPC, zmierzające do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Przełomowym krokiem prowadzącym do ograniczenia emisji CO₂ było wprowadzenie do Załącznika VI konwencji MARPOL rozdziału czwartego, regulującego efektywność energetyczną statku. Redukcja emisji GHG realizowana jest dzięki wprowadzeniu:

- Projektowego Wskaźnika Efektywności Energetycznej (EEDI);
 - Planu Zarządzania Efektywnością Energetyczną Statku (SEEMP),
- oraz promocji współpracy technicznej i transferu technologii związanych z poprawą efektywności energetycznej statków [MARPOL 2015].

Szacuje się, że wraz ze wzrostem handlu międzynarodowego nastąpi istotny rozwój transportu morskiego (prognozowany przyrost roczny na poziomie 3,2% objętości transportowanych towarów), co przyczyni się również do znacznego wzrostu emisji gazów cieplarnianych. W celu zmniejszenia emisji GHG, wynikającej z rozwoju transportu morskiego, na kwietniowym szczycie IMO w Londynie w roku 2018 kraje członkowskie przyjęły plan 50% redukcji emisji gazów cieplarnianych do 2050 roku [IMO 2018]. Dotychczasowe dyskusje nad ograniczaniem emisji GHG skupiały się m.in. na opracowywaniu systemu handlu uprawnieniami do emisji CO₂. Aby przyczynić się do efektywnej redukcji gazów cieplarnianych, należy przede wszystkim dążyć do rzeczywistego zmniejszenia emisji CO₂.

2. EMISJA GHG ZE STATKÓW

Zgodnie z danymi opublikowanymi przez IMO żegluga stanowi źródło ok. 2% światowej emisji CO₂.

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań IMO nad emisją CO₂.

Tabela 1. Udział żeglugi w światowej emisji CO₂

Table 1. The share of international shipping in global CO₂ emissions

Rok i nazwa badania	Wyniki badania
1996, The First IMO GHG Study	Żegluga międzynarodowa źródłem ok. 1,8% całkowitej globalnej antropogenicznej emisji CO ₂
2007, The Second IMO GHG Study	Żegluga międzynarodowa źródłem ok. 2,7% całkowitej globalnej antropogenicznej emisji CO ₂
2012, The Third IMO GHG Study	Żegluga międzynarodowa źródłem ok. 2,2% całkowitej globalnej antropogenicznej emisji CO ₂

Źródło: [IMO 2015].

Głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych są kontenerowce. Ponad ¼ CO₂ w transporcie międzynarodowym śródlądowym pochodzi z tego źródła (tab. 2).

Tabela 2. Udział poszczególnych jednostek w emisji CO₂

Table 2. The share of vessels in CO₂ emissions

Jednostki	Nośność [DWT]	Udział w całkowitej emisji CO ₂ [%]
Masowce	10 000	15,70
Gazowce	2000	4,19
Zbiornikowce	4000	19,06
Kontenerowce	10 000	26,07
Drobnicowce	2000	7,80
Chłodniowce	3000	1,68

Źródło: [IMO 2010].

Dekarbonizację żeglugi morskiej można osiągnąć dzięki:

- wykorzystaniu paliw alternatywnych (amoniak, metanol, wodór) i energii odnawialnej (słonecznej, wiatrowej, fal morskich);
- wykorzystaniu środków technicznych mających na celu poprawę efektywności energetycznej statków (udoskonalenia konstrukcji kadłuba, wykorzystanie energii odpadowej);
- poprawie czynności operacyjnych (konserwacja kadłuba, silników i pędników, wybór prędkości operacyjnej [Jurdziński 2011; IMO 2015; Kowalski 2018]).

Opracowanie koncepcji bezemisyjnych statków stało się wyzwaniem dla wielu przedsiębiorstw żeglugowych i biur projektowych. Do ich najciekawszych propozycji należą m.in. następujące jednostki:

- E/S „Orcelle” – koncepcyjny samochodowiec skandynawskiej firmy Wallenius Wilhelmsen, który został zaprezentowany po raz pierwszy w 2005 r. w Japonii.

Jednostka wykorzystuje energię słoneczną i wiatrową oraz fal (trzy żagle pokryte są panelami słonecznymi) i jest całkowicie przyjazna dla środowiska.

- „Super Eco Ship 2030” – jednostka japońskiego przedsiębiorstwa żeglugowego NYK, która wykorzystuje ogniwa słoneczne oraz LNG. Projekt kontenerowca zakłada m.in. brak konwencjonalnego systemu bunkrowania.
- Zaopatrzeniowy kontenerowiec w transporcie bliskomorskim ZERO – kontenerowiec „nowej generacji” o zerowej emisji. Według towarzystwa klasyfikacyjnego Germanischer Lloyd statek będzie napędzany ciekłym wodorem. Jednostka ma posiadać mniejszą prędkość operacyjną.
- Prom Zero-Emission – koncepcja promu firmy Futureship dla firmy spedycyjnej Scandilines zakłada wykorzystanie różnorodnych technologii, takich jak systemy fotowoltaiczne, ogniwa paliwowe i rotory Flettnera.
- Kontenerowiec B9 – jednostka napędzana biogazem (metan) oraz wykorzystująca energię wiatrową. Jej rozmiary są znacznie mniejsze od konwencjonalnych statków towarowych, co pozwala na zwiększenie skuteczności operacyjnej.

Przedstawione koncepcje jednostek pokazują możliwe kierunki wykorzystania „zielonych technologii”. Obecnie eksploatowaną jednostką, która wyróżnia się na tle konwencjonalnych, jest „Emerald Ace”, skonstruowany przez Mitsubishi. Wprawdzie nie jest to statek bezemisyjny, ale dzięki zastosowaniu paneli słonecznych zasilających baterie litowe, nie emituje szkodliwych gazów podczas cumowania [Anish 2017].

3. AMONIAK JAKO PALIWO

Stosowanie amoniaku jako paliwa nie jest nowym pomysłem [Cornelius, Huellmantel i Mitchell 1965; Starkman i in. 1967]. Badania nad jego wykorzystaniem jako bezpośredniego źródła paliwa oraz jako źródła wodoru, które może być następnie użyte do pracy ogniwa paliwowego, prowadzone są od ponad trzydziestu lat. Pomimo obiecujących wyników tych badań należy mieć na uwadze zagrożenia związane z zastosowaniem amoniaku. Jest to gaz toksyczny, palny, który po zmieszaniu z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową (w zakresie od 15 do 33,6% obj.). Mimo to jest on znacznie bezpieczniejszy niż inne paliwa – dla porównania temperatura samozapłonu amoniaku wynosi 651°C, oleju napędowego 230°C, a benzyny 300°C. W przeciwieństwie do wodoru wyciekowi amoniaku towarzyszy silny, charakterystyczny zapach wyczuwalny już przy stężeniu powyżej 5 ppm. Niewątpliwą zaletą amoniaku jest wysoka liczba oktanowa 110–130. Bezpieczeństwo transportu amoniaku oparte jest na wieloletnim doświadczeniu transportu NH_3 drogą morską [Zamfirescu i Dincer 2009].

Do produkcji amoniaku najczęściej stosuje się metodę Habera i Boscha, według której proces przebiega pod ciśnieniem około 20 MPa. Surowcami do przemysłowej produkcji amoniaku są powietrze – źródło azotu oraz gaz ziemny. Gaz ziemny

w ponad 90% składa się z metanu, z którego otrzymuje się drugi reagent, czyli wodór. Innym źródłem węglowodorów, z których uzyskuje się ten pierwiastek, jest ropa naftowa. Tradycyjna metoda Habera i Boscha ma dwie zasadnicze wady: wymaga dużych nakładów energetycznych i przyczynia się do emisji CO₂ w ilości 2 ton/tonę wyprodukowanego amoniaku.

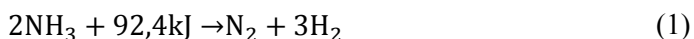
Jako alternatywę dla tej metody Stuart Licht zaproponował niskoenergetyczny proces syntezy amoniaku, wykorzystujący powietrze (źródło azotu), wodę (źródło wodoru) oraz światło słoneczne. Ponadto amoniak może być otrzymywany z biomasy, która jest źródłem wodoru do jego syntezy [Thaker i in. 2010].

3.1. Ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe są urządzeniami, które energię chemiczną paliwa i utleniacza zamieniają bezpośrednio w energię elektryczną. Ponieważ generowaniu energii nie towarzyszy proces spalania, wyeliminowany zostaje problem emisji produktów spalania, w tym dwutlenku węgla. Ponadto ogniwa paliwowe charakteryzuje niski poziom hałasu podczas pracy. Najczęściej wykorzystywanym paliwem w ogniwach paliwowych jest wodór cechujący się wysoką reaktywnością oraz wysoką gęstością energii – zgromadzony w postaci ciekłej w niskiej temperaturze lub w postaci sprężonej pod wysokim ciśnieniem. Doprowadzenie go do takiej postaci, jak i magazynowanie, są procesami energochłonnymi, dlatego prowadzone są badania nad wykorzystaniem w ogniwach paliwowych innych paliw i związków bogatych w wodór, m.in. amoniaku (NH₃).

Amoniak jest nośnikiem wodoru o wysokiej gęstości wodorowej, który łatwo skraplać przy zastosowaniu wysokiego ciśnienia w temperaturze 20°C. W zależności od tego, w jakim miejscu zachodzi rozkład amoniaku, rozróżnia się ogniwa bezpośrednie i pośrednie.

Ogniwa paliwowe pośrednie wykorzystują proces termicznego rozkładu lub elektrolizy amoniaku do wytworzenia wodoru zasilającego ogniwo. Termiczny rozkład amoniaku do azotu i wodoru przebiega zgodnie z równaniem 1 [Cheddie 2012]:

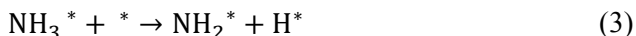


Stopień konwersji amoniaku do wodoru wynosi 98–99%, przy czym zależy on od temperatury oraz katalizatora. Według literatury przedmiotu jedną z najlepszych dla tego procesu jest krzemionka typu SBA-15, zawierająca nanocząsteczki niklu [Liu i in. 2008]. Wykorzystanie tego katalizatora pozwala na otrzymywanie 33,3 mmol H₂/g Ni-SBA-15/min. Mechanizm reakcji dekompozycji obejmuje następujące etapy [Cheddie 2012]:

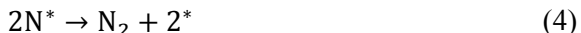
a) adsorpcja amoniaku na powierzchni katalizatora



b) rozszczepienie wiązania N-H



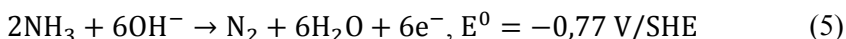
c) desorpcja i rekombinacja atomów N₂



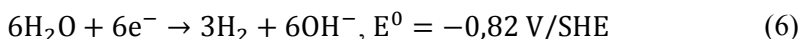
Desorpcja atomów azotu jest etapem określającym szybkość przebiegu reakcji termicznego rozkładu amoniaku.

W przypadku wykorzystania w ogniwach paliwowych procesu elektrolizy/elektrooksydacji Vitse zaproponował następujący mechanizm reakcji [Vitse, Cooper i Botte 2005]:

a) anoda – utlenianie amoniaku w roztworze alkalicznym



b) katoda – elektroliza wody



Utlenianie amoniaku obejmuje:

- 1) adsorpcję amoniaku na powierzchni platyny,
- 2) odwodornienie amoniaku i utworzenie zaadsorbowanych produktów pośrednich (N, NH, NH₂),
- 3) utworzenie na powierzchni N₂H₂, ad., N₂H₃, ad., N₂H₂, ad., które w reakcji z jonami OH⁻ tworzą azot.

W ogniwach paliwowych bezpośrednich amoniak wykorzystywany jest bezpośrednio w ogniwie, a nie, jak wcześniej, jako źródło wodoru w zewnętrznym reaktorze. Na uwagę zasługują trzy rodzaje ogniw paliwowych, wykorzystujących amoniak: alkaliczne ogniwa paliwowe (AFC), ogniwa paliwowe z zestalonym elektrolitem tlenkowym (SOFC) oraz ogniwa paliwowe z elektrolitem polimerowym (PEMFC) [Lan i Tao 2014].

Różnice pomiędzy poszczególnymi ogniwami przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Ogniwa paliwowe

Table 3. Fuel cells

Ogniwo paliwowe	Elektrolit	Temperatura pracy [°C]	Sprawność [%]
AFC	Wodny roztwór wodorotlenku potasu	80–120	> 60
SOFC	Cyrkon stabilizowany tlenkiem itru	800–1000	40–50
PEMFC	Membrana polimerowa	80–140	40–50

Źródło: [Ceran 2014].

3.2. Paliwo amoniakalne

Możliwe jest bezpośrednie zastosowanie amoniaku jako paliwa. Amoniak przechowywany jest w zbiornikach pod ciśnieniem 1 MPa (gęstość 603 kg/m³). Ciepło spalania amoniaku wynosi 22,5 MJ/kg, gęstość energii 13,6 GJ/m³, natomiast koszt wytworzonej energii to ok. 13,3 \$ za GJ. Ze względu na toksyczność amoniaku można przechowywać go w sposób ograniczający możliwość jego przedostania się do środowiska. Takim alternatywnym sposobem dla zbiorników ciśnieniowych jest osadzanie amoniaku na porowatym nośniku (np. chlorku sześciometyloamoniowym). Niepożądane toksyczne działanie zostaje w ten sposób wyeliminowane, gdyż amoniak może zostać uwolniony z porowatego nośnika jedynie na skutek jego ogrzewania w temperaturze $\geq 350^{\circ}\text{C}$. Zmiana sposobu przechowywania powoduje jednakże wzrost kosztu energii do ok. 17,5 \$ za GJ.

Wykorzystanie amoniaku jako paliwa nie tylko eliminuje problem emisji CO₂, ale również sady [Lan i Tao 2014]. W przypadku bezpośredniego użycia amoniaku jako paliwa mamy jednak do czynienia z niecałkowitym spalaniem, co wpływa na wydajność procesu i jest źródłem odpadowego gazowego amoniaku.

Amoniak nie może być bezpośrednio stosowany w tłokowych silnikach spalinowych (ICE), ze względu na zbyt wolne rozprzestrzenianie się płomienia. Silniki zaprojektowane w celu wykorzystywania tego paliwa muszą charakteryzować się stopniem sprężania od 40:1 do 100:1, czyli czterokrotnie wyższym niż w klasycznym silniku spalinowym.

Możliwe jest natomiast wykorzystywanie jako paliwa mieszaniny amoniaku i benzyny [Zamfirescu i Dincer 2009]. Takie rozwiązanie wymaga na ogół zastosowania dwóch systemów przechowywania paliwa, systemów podwójnego podawania i podwójnych systemów wtrysku, co zwiększa masę, złożoność i koszty systemu.

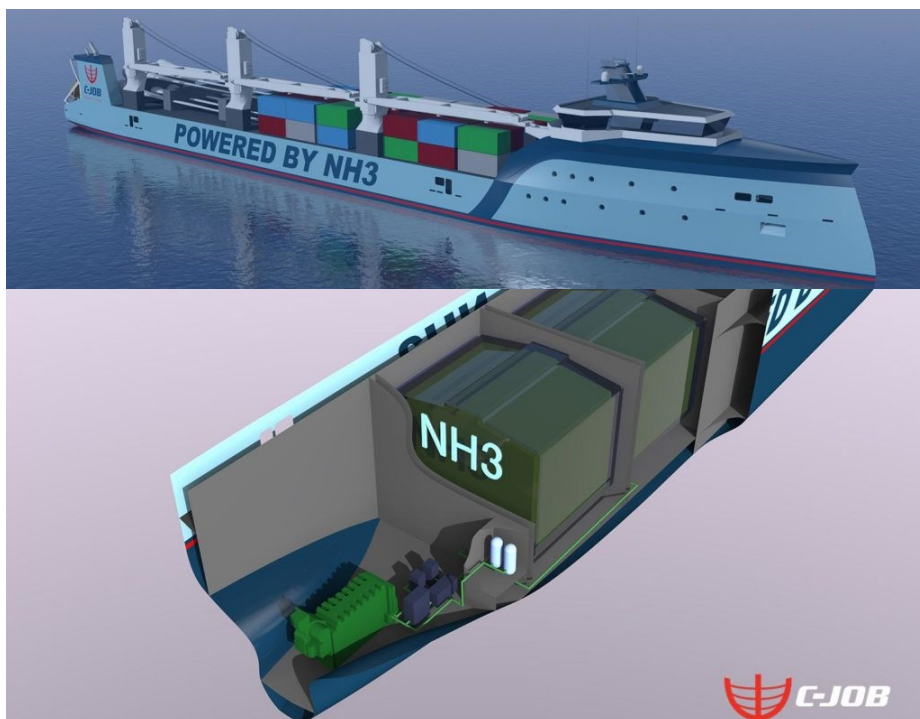
Drugą opcję stanowi użycie wodoru jako promotora spalania. Obiecującym wariantem tego podejścia jest umieszczenie na pokładzie między zbiornikiem paliwa a silnikiem reformera, w którym w obecności katalizatora nastąpi częściowy rozkład amoniaku do wodoru i azotu [Crolius 2016; C&F 2018]. Czysty wodór ulegnie szybszemu zapłonowi niż amoniak, przy czym produktami ubocznymi reakcji będą woda, azot i tlenki azotu. Silnik spalinowy lub turbinę gazową należy więc tak zaprojektować, aby do minimum ograniczyć emisję NO_x.

Zdaniem specjalistów mało realne jest wykorzystanie NH₃ do napędu statków w ciągu najbliższych lat [Bergman 2018]. Ich zdaniem będzie to wymagało opracowania nowych norm bezpieczeństwa, infrastruktury, a co najważniejsze, znalezienia źródła dużych ilości odnawialnego amoniaku (by wyeliminować emisję CO₂, towarzyszącą tradycyjnemu procesowi syntezy NH₃).

3.3. Proponowane rozwiązania

Zdaniem holenderskiej firmy C-Job Naval Architects amoniak może stać się jednym z paliw przyszłości. C-Job prowadzi badania nad wprowadzeniem amoniaku jako paliwa zarówno do zasilania silników spalinowych, jak i ogniw paliwowych.

Wstępny projekt koncepcyjny statku został przedstawiony na rysunku 1.

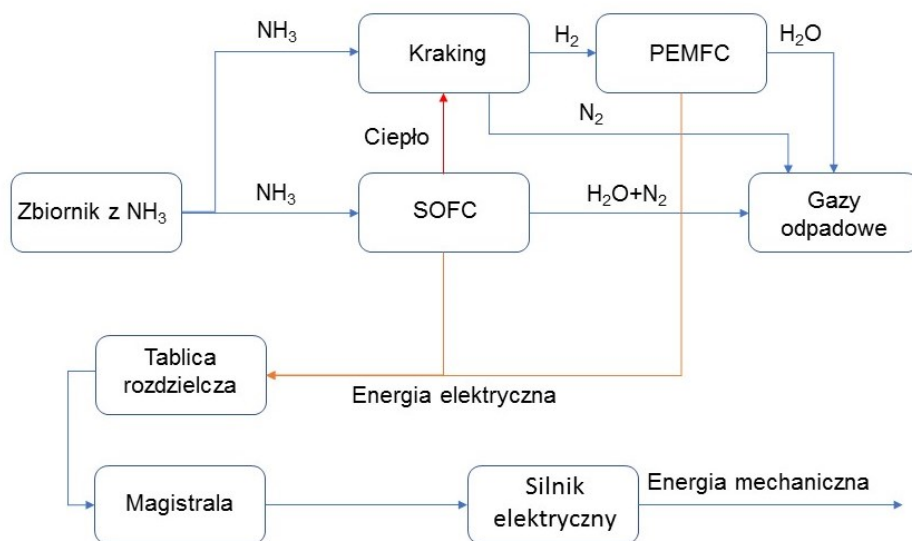


Rys. 1. Model koncepcyjny statku zasilanego amoniakiem firmy C-Job Naval Architects

Fig. 1. Conceptual model of ship powered by ammonia from C-Job Naval Architects

Źródło: [C-Job 2018].

Jednym z założeń konsorcjum C-Job jest wykorzystanie dwóch rodzajów ogniw paliwowych (rys. 2). W przedstawionym systemie hybrydowym amoniak wykorzystywany jest zarówno do produkcji wodoru (na drodze termicznego rozkładu), do zasilania ogniwa paliwowego PEMFC, jak i bezpośrednio w ogniwie SOFC [Brown 2018].



Rys. 2. Koncepcja firmy C-Job

Fig. 2. C-Job conception

Źródło: [C-Job 2018].

4. WNIOSKI

Nie ulega wątpliwości, że wprowadzenie paliw alternatywnych do gospodarki morskiej może w istotny sposób wpłynąć na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie amoniaku jako paliwa zarówno do silników spalinowych, jak i do ogniw paliwowych. Najbardziej obiecujące są wyniki prac nad ogniwami paliwowymi, a o stopniu ich zaawansowania mogą świadczyć realizowane projekty wykorzystujące te rozwiązania.

LITERATURA

- Anish, W., 2017, *Top 5 Zero Emission Ship Concepts of the Shipping World*, <https://www.marine-insight.com/green-shipping/top-5-zero-emission-ship-concepts/> (dostęp: 12.09.2018).
- Bergman, J., 2018, *MAN: Ammonia Marine Fuel 'Unlikely' Before 2030*, https://www.mpropulsion.com/news/view,man-ammonia-marine-fuel-unlikely-before-2030_53752.htm (dostęp 20.08.2018).

- Brown, T., 2018, *Ammonia as a Renewable Fuel for the Maritime Industry*, <http://www.ammonia-energy.org/ammonia-as-a-renewable-fuel-for-the-maritime-industry/> (dostęp 13.09.2018).
- C&F, 2018, *A New Way of Fueling the Marine Industry*, *International Cruise & Ferry Review*, Spring/Summer, s. 130–131.
- Ceran, B., 2014, *Charakterystyki eksploatacyjne stosu ogniw paliwowych typu PEMFC*, *Polityka Energetyczna*, vol. 17, nr 3, s. 135–146.
- Cheddie, D., 2012, *Ammonia as a Hydrogen Source for Fuel Cells: a Review*, w: Minic, D. (ed.), *Hydrogen Energy*, IntechOpen, Rijeka.
- C-Job (Niels de Vries), 2018, *Ammonia as a Renewable Fuel for the Maritime Industry*, NH₃ Event, <https://i1.wp.com/www.ammoniaenergy.org/wp-content/uploads/2018/07/C-Job-fuel-system-configuration-5.png> (dostęp 13.09.2018).
- Cornelius, W., Huellmantel, L.W., Mitchell, H.R., 1965, *Ammonia as an Engine Fuel*, SAE Technical Paper 650052.
- Crolius, S., 2016, *Ammonia-Powered Internal Combustion Engines*, <http://www.ammoniaenergy.org/ammonia-powered-internal-combustion-engines/> (dostęp 3.09.2018).
- IMO, 2010, *IMO Activities on Control of GHG Emissions from Ships*, <https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/7ada/4db366e6977df77a692aea41176003d135b7.pdf> (dostęp 20.08.2018).
- IMO, 2015, *Third IMO GHG Study 2014*, International Maritime Organization, London.
- IMO, 2018, *Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*, Resolution MEPC.304(72), Adopted on 13 April 2018, International Maritime Organization, London.
- Jurdziński, M., 2011, *Ocena metod i możliwości zmniejszenia zużycia paliwa oraz emisji gazów na statkach morskich*, *Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni*, nr 26, s. 19–32.
- Kowalski, J., 2018, *Analiza możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych ze statków dalekomorskich*, *Logistyka*, nr 3, s. 49–53.
- Lan, R., Tao, S., 2014, *Ammonia as a Suitable Fuel for Fuel Cells*, *Frontiers in Energy Research*, vol. 2, no. 35, s. 1–4.
- Liu, H., Wang, H., Shen, J., Sun, Y., Liu, Z., 2008, *Preparation, Characterization and Activities of the Nano-sized Ni/SBA-15 Catalyst for Producing CO_x-Free Hydrogen from Ammonia*, *Applied Catalysis A: General*, vol. 337, s. 138–147.
- MARPOL, 2015, Międzynarodowa Konwencja o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki 1973/1978, tekst jednolity.
- Sikora, M., Bednarski, M., Lasocki, J., Orliński, P., 2017, *Ammonia as a Fuel for Spark-Ignition Engines*, *Proceedings of the Institute of Vehicles*, vol. 5, no. 114, s. 55–61.
- Starkman, E.S., Newhall, H.K., Sutton, R., Maguire, T., Farbar, L., 1967, *Ammonia as a Spark Ignition Engine Fuel: Theory and Application*, *SAE Transactions*, no. 75, s. 765–784.
- Thaker, A., Mathev, M., Hasib, N., Herringer, N., 2015, *A Review of Ammonia Fuel Cells*, 10.13140/RG.2.1.1700.7129.
- Vitse, F., Cooper, M., Botte, G.G., 2005, *On the Use of Ammonia Electrolysis for Hydrogen Production*, *Journal of Power Sources*, vol. 142, no. 1–2, s. 18–26.
- Zamfirescu, C., Dincer, I., 2009, *Ammonia as a Green Fuel and Hydrogen Source for Vehicular Applications*, *Fuel Processing Technology*, no. 90, s. 729–737.